

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| <i>Título</i>               | Uso eficiente del agua.  |
| <i>Autor / Adscripción</i>  | Felipe I. Arreguín Cortés<br>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua   |
| <i>Publicación</i>          | Ingeniería Hidráulica en México, (2): 9-22   |
| <i>Fecha de publicación</i> | 1991   |
| <i>Resumen</i>              | En este artículo se presentan las técnicas de uso eficiente del agua en los ámbitos domiciliario, industrial, municipal, agrícola y a nivel de cuenca. Se discuten sus ventajas y desventajas, así como el potencial de ahorro que representan y se citan algunos ejemplos relacionados con las mismas. Se concluye que aun cuando existen técnicas y equipos más eficientes, las acciones generalmente son aisladas, y si acaso se llegan a integrar en programas, esto sucede sólo a nivel de los ámbitos ya señalados. La recomendación final es que se deben apoyar los programas de uso eficiente del agua a nivel de cuenca, con una perfecta definición de la participación de todos los usuarios del agua. |
| <i>Identificador</i>        | <a href="http://hdl.handle.net/123456789/1274">http://hdl.handle.net/123456789/1274</a>  |

# Uso eficiente del agua

Felipe I. Arreguín Cortés

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, CNA

*En este artículo se presentan las técnicas de uso eficiente del agua en los ámbitos domiciliario, industrial, municipal, agrícola y a nivel de cuenca. Se discuten sus ventajas y desventajas, así como el potencial de ahorro que representan y se citan algunos ejemplos relacionados con las mismas. Se concluye que aunque existen técnicas y equipos más eficientes, las acciones generalmente son aisladas, y si acaso se llegan a integrar en programas, esto sucede sólo a nivel de los ámbitos ya señalados. La recomendación final es que se deben apoyar los programas de uso eficiente del agua a nivel de cuenca, con una perfecta definición de la participación de todos los usuarios del agua.*

El 70% de nuestro planeta está cubierto por agua, sin embargo el 98% es salada y la tecnología actual para tratarla y usarla para el consumo humano o riego es todavía restringida, debido a sus altos costos. Aún más, la mayor parte del 2% del agua dulce se localiza en los casquetes polares o en los acuíferos, por lo que sólo queda disponible el 0.014% en los lagos y ríos de la superficie terrestre.

La distribución espacial del agua es desigual, y lo es aún más si se le relaciona con la población, por ejemplo, la disponibilidad anual de agua por habitante en miles de metros cúbicos, es de 109 para Canadá, 15 para la Unión Soviética, 10 para los Estados Unidos de Norteamérica, 4 para México y 0.16 para Arabia Saudita y Jordania.

Se estima que 3 400 millones de personas cuentan con una dotación de apenas 50 litros por día, y la Organización de las Naciones Unidas reporta que diariamente mueren 40 000 niños en el mundo, muchos de ellos víctimas de enfermedades diarreicas y de otros efectos colaterales a la falta de agua. La actual epidemia del cólera es una muestra de ello. En la década pasada hubo un decremento del 7% del área regada en el mundo; las reservas de granos en 1987 eran de 101 días y en 1989 habían disminuido a 54. Sandra Postel (1989), reporta que 61 millones de hectáreas con riego en el mundo tienen problemas de salinidad. México no escapa a esto, sus problemas son similares en la mayoría de los casos.

A toda esta situación se debe agregar otro problema: la contaminación. La mayoría de los ríos, lagos y mares se encuentra en un grado de deterioro tal, que urge tomar medidas para su protección. La atención a este tipo de problemas en forma integral requiere de la combinación de decisiones de orden político, económico, social y técnico. Por forma integral se entiende la atención de los problemas con determinada corresponsabilidad entre todos los países. Al interior de ellos es recomendable atender, al menos a nivel de cuenca, tomando en consideración sus interacciones con otras, las transferencias de recursos, actividad común en la mayoría de los países.

Uno de los componentes para atender los problemas citados son los programas de ahorro, conservación o uso eficiente del agua. Los tres tipos de programas tienen diferencias conceptuales. En México se ha optado por el último en su sentido más amplio, es decir, optimizando el uso del agua y de la infraestructura correspondiente, con la participación activa de los usuarios y con un alto sentido de equidad social.

En este artículo se presentan las principales técnicas de uso eficiente del agua en los ámbitos domiciliario, industrial, municipal, agrícola y de cuenca. Los ejemplos y citas a trabajos realizados en México, se restringen, en casi todos los casos, a los realizados por el Instituto Mexicano de Tecnología del

Agua (IMTA), pues en esta misma revista se incluyen los hechos por otras instituciones. Tal es el caso del Departamento del Distrito Federal (DDF), institución que ha trabajado durante muchos años en el uso eficiente del agua en el área urbana.

## Uso eficiente

La preocupación por usar mejor el agua no es nueva, de hecho, muchas de las técnicas de riego, como la nivelación parcelaria o la reducción de evaporación con camas de rastrojo, son tan antiguas como la construcción en Inglaterra del primer excusado de bajo consumo allá por 1890, por Thomas Crapper (Corpening, 1990). Algunas de estas acciones fueron aisladas como el caso del riego, o se idearon para reducir el problema de la contaminación por las aguas residuales, que era el objetivo del excusado de bajo consumo.

Sin embargo, a medida que el agua escaseaba, se empezaron a conjuntar las acciones hasta constituirse en verdaderos programas. Estos se manifestaron como tales a principios de los años 70 en el ámbito urbano, cuando azotaron grandes sequías el suroeste de los EUA. Por supuesto, en un principio fueron programas emergentes, pero su eficiencia y la escasez de agua los han convertido en programas de mediano y largo plazos (Gordon, 1990; Van Dyke *et al.*, 1990). En México, el DDF implantó su programa de uso eficiente del agua en 1984 (DDF, 1990).

El uso eficiente no sólo aporta beneficios al sistema que lo efectúa, también significa mejoras para otros usuarios. Por ejemplo, el ahorro del líquido en zonas habitacionales implica una menor explotación de ríos y acuíferos, una mejor calidad del agua, una menor necesidad de obras nuevas (y menores cargas de impuestos); además, al reducirse los consumos, hay menos agua residual, menos necesidad de obras de drenaje, más facilidad de tratamiento y menos riesgo de contaminación de los cuerpos receptores.

Tradicionalmente, las exigencias de la población, los procedimientos para la gestión de créditos, las maquinarias y equipos comercializados y hasta los planes de estudio de las universidades, se enfocan a la construcción de más obras para resolver problemas de abastecimiento, riego, generación hidroeléctrica o hasta de recreación, olvidándose de opciones quizás más sencillas y permanentes como mejorar la eficiencia en el uso del agua. Es el momento, ahora que cada vez es más evidente la escasez de este elemento y su creciente contaminación, de implantar acciones intensas de

promoción, difusión, investigación y apoyo en general al uso eficiente. Las otras opciones, como la construcción de nuevas obras, tienen su propia inercia y se defenderán solas, incluso a veces habrá que luchar contra ellas.

## En las casas

En este nivel, los usos del agua pueden clasificarse en interiores y exteriores. En aquellos domicilios que cuentan con jardines puede llegar a utilizarse 50% del agua en cada tipo de uso.

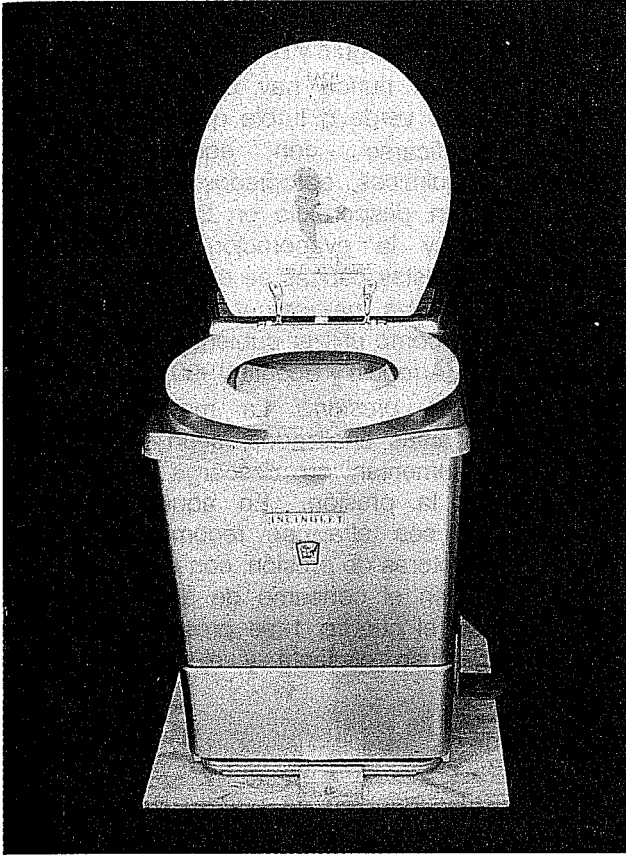
### Usos interiores

En una casa habitación puede utilizarse hasta un 35% del consumo interior en los excusados; un 30% en las regaderas, un 20% en las lavadoras de ropa, entre un 3 y 10% en las llaves de fregaderos y lavabos y un 5% en las lavadoras de trastos.

- *Retretes de bajo consumo.* Los tradicionales utilizan de 16 a 20 l por descarga, lo que significa un consumo de 80 a 100 l diarios por habitante; los de bajo consumo que funcionan con 6 l por descarga, pueden reducirlo a 30 l diarios por habitante. En el IMTA se ha probado una gran cantidad de excusados de diversos países y se ha encontrado que tienen un funcionamiento variable, dependiendo de la marca y del lote medido (García y Cortés, 1989–1990).

La búsqueda por ahorrar agua en estos dispositivos ha llegado a la utilización de tanques presurizados, que funcionan conectando la línea de alimentación al tanque que está cerrado herméticamente (Stevens Institute of Technology, 1991), con lo cual la carga de presión dentro del mismo puede ser igual a la diferencia de nivel de la superficie libre del agua en el tinaco y la del tanque del excusado; o a la presión de la red de abastecimiento, lo que mejora la eficiencia del retrete y reduce la cantidad de agua a niveles inferiores a los 6 l por descarga. Existen otros tipos de excusados que llegan al extremo de no usar agua, como los biológicos y los incineradores (García y Cortés, dic., 1989), que degradan la materia fecal colocada en depósitos inferiores a la taza, hasta convertirla en abono (véase ilustración 1).

Se han hecho esfuerzos para mejorar la eficiencia de los excusados tradicionales, reduciendo la capacidad del tanque, mediante la colocación de recipientes, tabiques, bolsas llenas de agua o represas de plástico (García y Cortés, jul., 1990), sin



1. Excusado tipo incinerador. (Nótese el compartimento inferior)

embargo en la mayoría de los casos esto resta capacidad de arrastre a la taza. Una opción que parece viable para ahorrar agua en estos inodoros, es la prolongación del sifón de descarga, lo cual reduce el consumo de agua, según mediciones que ha hecho el IMTA (García y Cortés, mar., 1991).

- **Regaderas.** Como ya se señaló, es el segundo dispositivo demandante de agua dentro de una casa habitación; debido a ello en el DF se ha reglamentado que la descarga en estos dispositivos no debe ser mayor de 10 l/min. Esto puede lograrse mediante nuevos diseños de regaderas o empleando reductores de flujo. En la ilustración 2 se muestra el comportamiento de una regadera tradicional, una de bajo consumo y una convencional con reductor integrado (García y Cortés, mar., 1989).
- **Llaves de lavabos y fregaderos.** La reducción del flujo en estos dispositivos se logra por medio de aeradores, los cuales incluyen aire y dispersan el chorro, incrementando el área de cobertura y, por lo tanto, la eficiencia de lavado. Un aerador puede llegar a reducir el flujo hasta en un 6%.

Otra opción que se ha explorado y que brinda excelentes resultados, es la colocación de válvulas o sensores que hacen que salga agua sólo cuando se colocan las manos bajo ellos. En un estudio reciente hecho en el IMTA, se encontró que en una llave de lavabo con sensor se tenían descargas de 1.5 l/min a una presión de 0.2 kg/cm<sup>2</sup>; y de 5.9 l/s con una presión de 2.5 kg/cm<sup>2</sup> (García y Cortés, mayo, 1989).

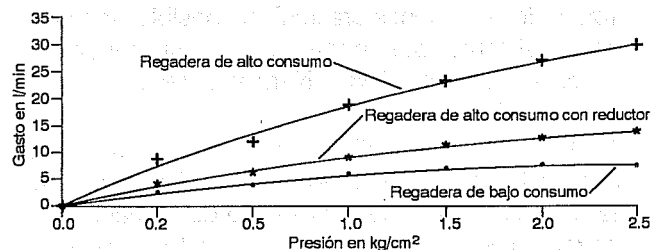
- **Lavadoras.** Los ahorros en este tipo de máquinas se consiguen poniendo cargas adecuadas de ropa, usando los niveles de agua necesarios para una correcta operación o con lavadoras que usan menos agua. Existen básicamente dos tipos de lavadoras, las de carga frontal y las de tina, las primeras pueden llegar a utilizar la mitad del agua, un 50% de agua caliente y un 33% del detergente que demandan las segundas. La construcción de lavadoras de ropa eficientes ha logrado ahorros de hasta un 24% del consumo de agua en comparación con las tradicionales.

Otra variable que debe tomarse en consideración al evaluar las lavadoras es el consumo de energía. García y Cortés (mayo, 1990), presentan los resultados de la evaluación de algunas lavadoras de carga frontal.

- **Lavadoras de platos.** El consumo de una lavadora de este tipo puede variar entre 49 y 95 l por día, sin embargo, se han construido modelos eficientes que utilizan entre 36 y 45 l en el mismo periodo. Una recomendación para mejorar la eficiencia de estas lavadoras es cargarlas a su capacidad de diseño.
- **Detección de fugas intradomiciliarias.** En los domicilios se pierde una gran cantidad de agua, debido a las fugas en las tuberías y accesorios hidráulicos y sanitarios.

Uno de los muebles que más fugas presenta es el excusado, básicamente en los herrajes de los tanques. Una forma de detectar dichas fugas es el empleo de colorantes que permiten ubicar con precisión por dónde se está fugando el agua; una vez detectada

## 2. Funcionamiento hidráulico de regaderas. (Prueba de presión-gasto)



ésta, se recomienda hacer las reparaciones necesarias. Sin embargo, la solución de fondo es la fabricación de herrajes confiables que no provoquen fallas; en este sentido los tanques presurizados que no los emplean, los inodoros de balancín o los que sustituyen los herrajes por sifones son opciones que se encuentran en desarrollo.

Con frecuencia, las llaves de lavabo, fregadero o regaderas, también presentan fugas. El desgaste del empaque o las fugas por la tuerca superior, se reparan con facilidad lo que propicia importantes ahorros de agua.

#### Usos exteriores a la casa

- *Riego de jardines.* Las prácticas adecuadas de riego de jardines son la mejor técnica para ahorrar agua. La hora más apropiada para regar es entre las 4 y 8 de la mañana, debido a que durante esas horas la presión en la red es más alta, la dispersión provocada por el viento es baja y las pérdidas por evaporación son despreciables. Sin embargo, este horario pudiera ser incómodo y se recomienda como opción regar de las 8 a las 12 de la noche, o en las primeras horas de la mañana.

La cantidad de agua aplicada varía de acuerdo con el clima. Se recomienda que la profundidad mojada durante el periodo de riego sea de 15 cm. En las áreas con pendientes pronunciadas, no se debe aplicar una cantidad de agua mayor que aquella que pueda ser absorbida por el suelo.

Una forma de reducir la evaporación del suelo es cubriéndolo con tierra de hoja o plástico sobre la superficie. Igualmente importante es eliminar malezas, que compiten con las plantas por el agua, los nutrientes y la luz solar; Arreguín y Buenfil (1990), hacen una serie de recomendaciones para ahorrar agua en estos casos.

- *Plantas nativas de la región.* Las plantas que consumen más eficientemente el agua en una región son las nativas. La combinación de éstas con rocas y grava puede dar una apariencia atractiva y consumir muy poca agua. Una tendencia reciente es el uso de xerófitas (cactus, nopales, etc.) como plantas de ornato; la promoción del empleo de éstas, debe hacerse tomando en consideración el posible impacto al ecosistema que podría causar su trasplante masivo (Cuthbert, 1989; Nero y Sorensen, 1990; Jacoby, 1990).
- *Lavado de automóviles.* Uno de los mayores desperdicios que se pueden hacer del agua es el lavado de automóviles por medio de la manguera; se recomienda hacerlo con una cubeta y una jerga

y apoyar el desarrollo de servicios públicos que reúsan el agua (Arreguín y Buenfil, 1990).

- *Albercas.* Casi nunca hay que cambiarles el agua por más verde o turbia que esté, siempre puede clarificarse con equipo portátil y productos químicos apropiados. Los factores que producen desperdicio en las piscinas son la filtración y la evaporación. Para reducir pérdidas por estas causas se recomienda revisar el estado de las paredes y el fondo de las albercas, así como utilizar cubiertas que eviten la evaporación (Arreguín y Buenfil, 1990).
- *Reducción de presión.* La mayoría de los dispositivos antes analizados, sean exteriores o interiores, aumentan su descarga en relación directa con la presión. En aquellos lugares donde ésta sea alta, se recomienda utilizar válvulas reductoras de presión, con ellas se logran reducciones en el consumo de agua de hasta un 10%. En el cuadro 1 se presentan algunas técnicas de uso eficiente y ejemplos de las mismos.

#### En industrias

En las industrias también se puede usar mejor el agua: la maquinaria, los procesos y los servicios accesorios demandan grandes cantidades de este recurso que pueden reducirse con técnicas de uso eficiente (Brown y Caldwell, 1990; Campos *et al.*, 1990). La calidad del agua requerida varía según el tipo de industria (por ejemplo, la petrolera o la minera requieren menos calidad que la farmacéutica) y su uso dentro del proceso, por lo que en una misma planta industrial pueden requerirse aguas de diferente calidad en varios procesos.

Los usos industriales del agua se pueden dividir en tres grandes grupos: transferencia de calor, generación de energía y aplicación a procesos.

- *Transferencia de calor.* Se utiliza en procesos de calentamiento o enfriamiento. Para el primero, normalmente se usa la generación de vapor por medio de calderas que emplean la combustión de carbón, petróleo, gas o productos de desecho. Para el enfriamiento, se emplea la circulación de agua, por medio de torres o estanques de enfriamiento.
- *Generación de energía.* La mayor parte de la energía generada en muchos países proviene de plantas termoeléctricas que emplean el vapor de agua para mover turbinas adaptadas a generadores. En la recuperación del vapor se usan condensadores, logrando establecer los

1. Técnicas de uso eficiente del agua

| Ambito      | Técnicas   | Ejemplos  |
|-------------|--|---|
| Casas       | Interiores   | Excusados de bajo consumo<br>Regaderas<br>Lavadoras<br>Detección de fugas   |
|             | Exteriores   | Riego eficiente de jardines<br>Manejo de albercas<br>Uso de plantas nativas   |
| Industria   | Recirculación  | Sistemas de enfriamiento<br>Sistemas de lavado<br>Proceso de transporte de materiales                                 |
|             | Reúso  | Purificación de aire<br>Transporte de materiales<br>Proceso de lavado   |
|             | Reducción del consumo  | Optimización de procesos<br>Descargas intermitentes<br>Riego eficiente  |
| Ciudad      | Educación<br>Detección y reparación de fugas<br>Medición   | Programas escolares<br>Distritos pitométricos<br>Auditorías de agua<br>Programas de macro y micromedición             |
|             | Tarifas<br>Reglamentación  | Escalonadas<br>A nivel ciudad, domicilio o actividad  |
| Agricultura | De campo   | Subsoleo<br>Uso de rastrojo<br>Nivelación de tierras<br>Compactación de surcos  |
|             | Administrativas  | Programación de riegos<br>Riego limitado<br>Monitoreo de humedad del suelo  |
|             | De sistemas  | Reemplazo de regaderas por tubería<br>Sistema de recuperación de colas<br>Reducción de área regada<br>Riego por goteo |
| Cuenca      | Programación lineal<br>Programación no lineal<br>Programación dinámica<br>Descomposición y multi-niveles de optimización | Problema de transporte<br>Multiplicadores de Lagrange<br>Teoría de redes<br>Subfunciones de Lagrange                  |

volúmenes de reemplazo en un 1% del total de agua suministrada a la planta (American Society for Testing and Materials, 1982).

- **Aplicación a procesos.** Son muchos los procesos en los que se necesita el agua, uno de ellos es el transporte de materiales, caso en que se utilizan tuberías o canales. Las industrias de la celulosa y el papel, las enlatadoras de alimentos, las carboníferas y los ingenios azucareros son las que más recurren a este método.

Las principales acciones de uso eficiente en el nivel industrial son la recirculación, el reúso y la reducción del consumo; en los tres casos son necesarias dos actividades básicas: la medición y el monitoreo de la calidad del agua.

La medición es la acción fundamental de cualquier programa de uso eficiente en el sector industrial, en la determinación de consumos horarios diarios,

mensuales, estacionales y medios, según se trate; en los procesos, equipos, accesorios, zonas de riego, baños, etc., sirve para programar cómo usar mejor el agua y para motivar a que los trabajadores participen en el ahorro de este líquido.

Como se señaló anteriormente, no todos los procesos industriales ni las áreas anexas a los mismos, requieren de la misma calidad de agua, así, para establecer medidas de recirculación, reúso o reducción, es indispensable conocer la calidad del agua en cada parte del proceso industrial.

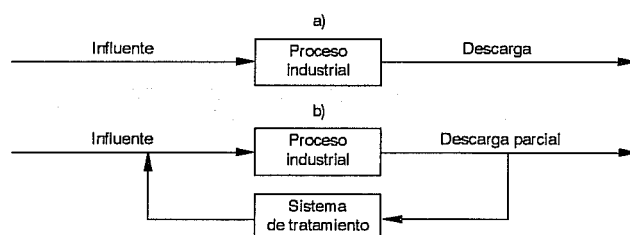
- **Recirculación.** Esta acción consiste en utilizar el agua en el proceso donde inicialmente se usó. En general, la primera vez que el agua ha sido utilizada, cambia sus características físicas y químicas y, por lo tanto, podría requerir de algún tipo de tratamiento. Es necesario entonces conocer la calidad del agua demandada por el proceso en cuestión, el nivel de degradación de su calidad en el mismo y, por ende, el tipo de tratamiento necesario (véase ilustración 3).

Uno de los usos industriales en que se emplea la recirculación es el enfriamiento de equipos que generan calor, por ejemplo, las bombas o los sistemas que condensan gases, como el de la refrigeración o la condensación de vapor. En estos casos, para recircular el agua se utilizan torres de enfriamiento, las cuales disminuyen la cantidad de calor por medio de la evaporación de una parte del agua. La recirculación también se utiliza en los procesos de lavado que tienen por objeto remover residuos o elementos contaminantes de los productos o equipos fabricantes; en este caso es necesario establecer el sistema de tratamiento adecuado para la remoción.

En los procesos de transporte de materiales, por ejemplo minerales o alimentos, se puede recircular el agua, incluso sin tratamiento. Actualmente, en la fabricación de papel, el reciclaje de agua y fibras es una actividad común.

- **Reúso.** En esta situación, el efluente de un proceso (con o sin tratamiento) se utiliza

3. Esquema de un sistema a) sin recirculación y b) con recirculación



en otro que requiere de diferente calidad del agua (véase ilustración 4). Es necesario determinar la calidad del agua que requiere cada proceso, identificar qué efluentes podrían utilizarse y, cuando corresponda, definir cuál sería el tratamiento mínimo requerido y los mecanismos para transportar el líquido. El agua producto de los procesos de lavado puede reusarse en otros que requieran de una calidad menor, como sucede en el enfriamiento, el transporte de materiales o la purificación de aire.

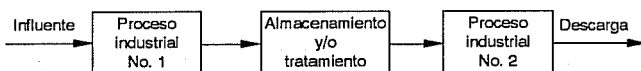
En un estudio realizado por el IMTA en un ingenio azucarero (Romero y González, 1990), se encontró que el agua se podía reusar en lavado de pisos, sistemas de enfriamiento, servicios sanitarios y riego agrícola (28% de la demanda total del ingenio), mediante:

- el tratamiento de los efluentes de los sistemas de generación de vacío y de procesos de destilería;
- reactores anaerobios de flujo ascendente, de sedimentación primaria y secundaria y de biodiscos;
- el tratamiento de los efluentes de servicios sanitarios y otros procesos por medio de lagunas de oxidación y
- el enfriamiento de los efluentes del proceso de condensación de vapor.

El mismo instituto encontró en una fábrica que tiñe hilo de lana y que confecciona casimires, que se podía reusar hasta un 50% del agua demandada por la industria (García, 1991).

- **Reducción del consumo.** Otra opción es reducir el consumo. Para ello es posible optimizar los procesos, mejorar la operación o modificar los equipos o la actitud de los usuarios del agua. Aquí es necesario calcular la cantidad de líquido requerida por un proceso dado, compararla con el consumo real y evaluar opciones para disminuir su consumo.

#### 4. Esquema de un sistema de reúso



En las industrias hay zonas accesorias (jardines o servicios sanitarios) en las que se pueden lograr importantes reducciones del consumo, por ejemplo, sembrando plantas nativas de la zona geográfica donde se ubique la industria, empleando equipo de riego eficiente, riego nocturno, etc. En cuanto a los servicios sanitarios, tanto la eliminación de fugas como el uso de reductores de flujo en excusados y regaderas de bajo consumo contribuyen a reducir los consumos industriales de agua.

En los procesos de transporte de materiales también se puede utilizar esta técnica, por ejemplo, mediante descargas intermitentes, que garantizan la misma capacidad de transporte que las continuas.

En el programa de uso eficiente del agua de cualquier industria es importante la participación de todo el personal (Brown y Caldwell, 1990).

#### En ciudades

Los principales problemas de abastecimiento a los centros urbanos son el agotamiento de las fuentes locales, la contaminación de las mismas, los altos costos de captación y conducción del agua y los conflictos generados por los intereses de diferentes usuarios sobre las fuentes. Paradójicamente, ante esta difícil situación, en las ciudades ocurren grandes porcentajes de fugas, se utilizan tecnologías derrochadoras de agua, no se reusa este recurso, los sistemas de facturación y cobranza son deficientes, las tarifas por el servicio frecuentemente no cubren los costos del suministro y existe poca conciencia ciudadana.

En una ciudad, en promedio se consume el 71% de la producción total de agua en las casas habitación, el 12% en la industria, el 15% en el comercio y el 2% en el sector servicios. Las técnicas de uso eficiente en las ciudades se pueden clasificar en cinco grupos: comunicación y educación, detección y reparación de fugas, medición, sistemas tarifarios y reglamentación.

#### Comunicación y educación

Para que todo programa de uso eficiente del agua tenga éxito, debe contar con la participación ciudadana, y para ello es indispensable establecer acciones de comunicación y educación. Otras actividades de estos programas, como las arriba mencionadas, serán más fáciles de realizar si se incluye a la población (Grisham y Flemming, 1989).

Los medios para hacer del conocimiento de los usuarios los objetivos, metas y resultados del programa son variados, incluyen desde avisos en los recibos de pago, campañas publicitarias en prensa, radio y televisión, anuncios en la vía pública y sistema de transporte hasta la distribución de dispositivos ahorradores. Se estima que este tipo de programas puede llegar a producir ahorros de entre un 4 y 5% de la producción total de agua (Grisham y Flemming, 1989).

En relación con la educación formal, es necesario fortalecer los programas de educación primaria y secundaria, en aspectos básicos como el ciclo hidrológico, de dónde viene, cuánto cuesta y a dónde va el agua usada en las ciudades; pero sobre todo mediante acciones que un niño o un joven pueda llevar a cabo en forma inmediata como el uso adecuado del agua en jardines, excusados, regaderas o lavabos.

#### Detección y reparación de fugas

Las pérdidas en los sistemas de agua potable y alcantarillado se deben a la evaporación y filtración en los vasos de almacenamiento y regulación, a las fugas en las redes y en las tomas domiciliarias; a la imprecisión de la medición o a la ausencia de ella y, en consecuencia, a la mala estimación, a las tomas clandestinas y al agua no contabilizada que se usa en los servicios municipales, como el riego de áreas verdes o arbotantes para el control de incendios.

Las fugas en las redes pueden ser visibles y no visibles; las primeras emergen de la tierra o del pavimento, las segundas no son detectadas a simple vista, pues el agua puede ir al sistema de drenaje o al acuífero. Los factores que influyen en las pérdidas en las redes son la edad y material de las tuberías, las cargas actuantes (tráfico, sismos, etc.), la calidad y presión del agua, el tipo de suelo, el acatamiento a las normas de construcción y el mantenimiento (Hammer, 1987). Las fugas pueden localizarse en la red o en las tomas domiciliarias.

En un estudio hecho recientemente por el IMTA, se encontró que en la ciudad de Guaymas, Son., se pierde el 30% del total de agua abastecida a la ciudad, y que de este total, el 89% ocurre en las tomas domiciliarias y el restante 11% en la red (Ochoa *et al.*, 1990).

Existe un gran número de técnicas y equipos para detectar fugas (Echávez, 1991; AWWA, 1986; AWWA, 1987; Camacho *et al.*, 1990). En cuanto a las empleadas para localizar fugas en la red pueden señalarse los trazadores, las auditorías de agua y

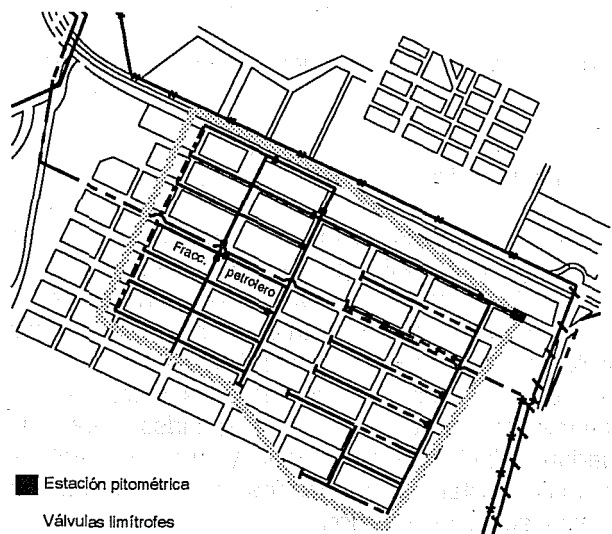
los distritos pitométricos. Esta última se utilizó en el estudio anteriormente mencionado con buenos resultados (véase ilustración 5). La localización de fugas no visibles en las tomas domiciliarias se realiza mediante la medición de presiones en las mismas; una caída de presión en tomas contiguas es índice de una fuga. En el estudio sobre Guaymas se constató que dos factores que influyen de manera determinante en las fugas son la calidad del material y la falta de seguimiento a las normas de instalación (véanse ilustraciones 6 y 7).

#### Medición

El primer paso en cualquier programa de uso eficiente del agua es la medición, dado que permite inducir la reducción del consumo y hacer más justo el cobro. Esto puede resultar caro desde la etapa de instalación hasta la de mantenimiento, por lo que conviene planear con mucho cuidado la administración de la medición.

Se recomienda inspeccionar anualmente todos los medidores de más de dos pulgadas de diámetro y realizar muestreos aleatorios en los de diámetros menores. Al respecto, ya existen programas para establecer el período adecuado de mantenimiento a estos dispositivos (Planells *et al.*, 1987). La edad, la calidad del agua y la instalación inadecuada son algunos de los factores que influyen para que su funcionamiento no sea el correcto. En un análisis hecho a una muestra de 350 medidores en Guaymas, Son., se averiguó que el 43% funcionaba en el rango inferior, el 55.8% estaba dentro del normal y el 1.2% en el superior; también se encontró que el 23.4% medía en exceso, el 71.4% lo hacía por debajo y

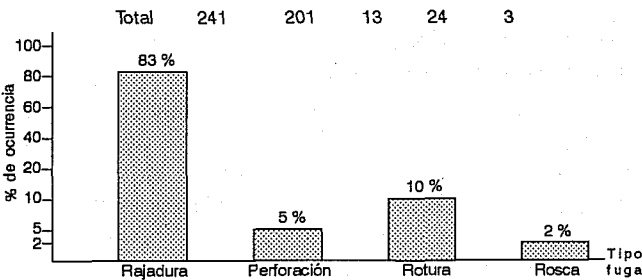
#### 5. Distrito pitométrico



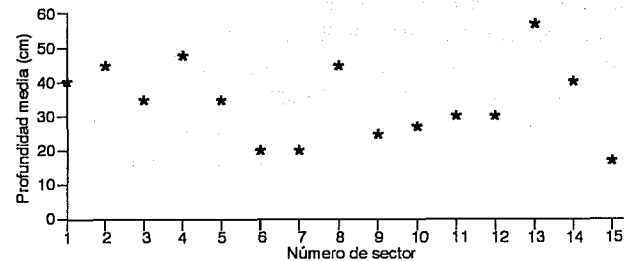


6. Tipos de falla en tomas domiciliarias

| Sector | Tipo de fuga   |          |       |                |             |
|--------|----------------|----------|-------|----------------|-------------|
|        | Tomas aforadas | Rajadura | Perf. | Corte o rotura | Rosca floja |
| 1      | 1              | 1        | 0     | 0              | 0           |
| 2      | 11             | 9        | 1     | 0              | 1           |
| 3      | 3              | 3        | 0     | 0              | 0           |
| 4      | 24             | 20       | 2     | 2              | 0           |
| 5      | 10             | 7        | 1     | 2              | 0           |
| 6      | 7              | 5        | 1     | 1              | 0           |
| 7      | 22             | 19       | 2     | 1              | 0           |
| 8      | 17             | 15       | 0     | 2              | 0           |
| 9      | 11             | 8        | 1     | 2              | 0           |
| 10     | 33             | 29       | 1     | 3              | 0           |
| 11     | 50             | 43       | 3     | 3              | 1           |
| 12     | 14             | 12       | 0     | 2              | 0           |
| 13     | 10             | 9        | 0     | 1              | 0           |
| 14     | 16             | 10       | 1     | 4              | 1           |
| 15     | 12             | 11       | 0     | 1              | 0           |



7. Profundidad media en tomas con fuga



sólo el 5.2% hacía una buena medición (Ochoa et al., 1990).

Sistemas tarifarios

Las tarifas son un elemento fundamental en los programas de uso eficiente del agua. Según Grisham y Flemming (1989), las tarifas pueden ayudar a ahorrar agua si en su estructura se observan las siguientes condiciones: que reflejen el costo real, que estén relacionadas con los consumos, que los incrementos diferenciales sean grandes para que puedan inducir a ahorrar agua y que los cambios de tarifas estén acompañados de programas de comunicación y educación.

En México, el agua se cobra con servicio medido o no medido a usuarios domésticos, comerciales e industriales. El cobro del segundo se hace en formas diversas: por cuota única, por cuota fija para diferentes sectores de la población, por diámetro de la toma domiciliaria, por tamaño del comercio, por el tipo de industria o por simple estimación, entre otras. La estructura tarifaria en las ciudades en que se mide el agua, se basa en cuatro parámetros: número, límites, precio y cuotas mínimas de los bloques considerados en la tarifa. En los dos últimos años se han realizado trabajos muy importantes de ordenamiento de tarifas en toda la República Mexicana.

Reglamentación

En general, los reglamentos para hacer más eficiente el uso del agua son de tipo restrictivo y tienen efecto en el ahorro del líquido; pueden ser de mediano o largo plazos o aplicables sólo durante las épocas de escasez; normalmente estos últimos requieren de una vigilancia muy estricta y, por lo tanto, se recomienda que se apliquen sólo cuando sea realmente necesario.

En México, existe el Reglamento del Servicio de Agua y Drenaje para el Distrito Federal (*Diario Oficial de la Federación*, 1990), que en su título segundo, capítulo tercero, trata sobre el uso responsable, racional y eficiente del agua. Algunos aspectos relevantes señalados en los artículos correspondientes se refieren a que los usuarios deberán mantener en buen estado sus instalaciones hidráulicas interiores, a fin de evitar el desperdicio; los excusados tendrán una descarga máxima de seis litros en cada servicio, las regaderas un gasto de 10 l/min y los mingitorios de cuatro litros por descarga. Se menciona; además, la obligación de participar en el programa de sustitución de excusados. También se señala que las albercas de cualquier volumen, deberán contar con equipos de filtración, purificación y recirculación del agua; y se prohíbe el uso de la manguera para el lavado de vehículos automotores y de la vía pública, entre otros.

En algunos estados de la República Mexicana existen también reglamentos relativos al uso eficiente del agua, y actualmente se está promoviendo que se establezcan en todo el país.

Grisham y Flemming (1989), han agrupado las técnicas de uso eficiente del agua en el ámbito municipal, señalando las ventajas y desventajas, así como el porcentaje de reducción en el consumo en los EUA (véase cuadro 2). Para tener una concepción global de las técnicas de uso eficiente se recomienda ver el cuadro 1.

**2. Técnicas de uso eficiente del agua en el medio municipal (según Grisham y Fleming)**

| Técnica                     | Ventajas   | Desventajas   | Reducción del consumo en %           |
|-----------------------------|--|---|--------------------------------------|
| Medición                    | -Fácil de implementar<br>-Mayor potencial de ahorro  | -Altos costos de capital<br>-Requiere cambios en la tarifa  | 25% en áreas que no tienen medición  |
| Reparación de fugas         | -Reduce el agua no contabilizada   | -Los costos pueden sobrepasar los del agua ahorrada   | 9% aproximadamente                   |
| Tarifas                     | -Pueden inducir fuertemente al ahorro  | -Ojección de los usuarios<br>-Requiere estructuras bien diseñadas para ser efectivas  | 10%                                  |
| Dispositivos ahorradores    | -Baratos<br>-Ahorros rápidos   | -Requiere la cooperación del usuario  | Al menos 10% del consumo residencial |
| Reglamentación              | -Gran potencial de ahorro<br>-Reduce aguas residuales  | -Posible resistencia de constructores   | Sobre un 10% del uso residencial     |
| Restricciones al uso        | -Efectivo en los exteriores de las casas, especialmente en sequías                                 | -Requiere la cooperación del usuario<br>-Difícil de establecer  | 10 a 20% del uso residencial         |
| Reúso y jardines eficientes | -Ahorros significativos<br>-Bajo mantenimiento de las plantas nativas                              | -Baja aceptación de usuarios<br>-Preferencias de los usuarios por determinadas plantas<br>-Puede no haber disponibilidad de plantas nativas | 25% del uso residencial              |
| Educación                   | -Puede cambiar malos hábitos<br>-Resultados a largo plazo<br>-Promueve la participación voluntaria | -Requiere un esfuerzo bien planeado y coordinado  | 5%                                   |

**En la agricultura**

La agricultura representa el principal sistema consumidor de agua en la mayoría de los países. En ella se utilizan fuertes volúmenes para riego tanto en pequeños como en grandes sistemas; sin embargo, normalmente las eficiencias de aprovechamiento son muy bajas y pueden mejorarse con sistemas de control, conducción, distribución y aplicación del riego a los cultivos adecuados (Carvajal y Davidoff, 1990; Phene, 1990; Kromm y White, 1990).

Existen muchas técnicas de uso eficiente para riego. Kromm y White (1990), las han clasificado en tres grupos: métodos de campo, orientados hacia la retención y distribución del agua; estrategias administrativas, cuyo objetivo es programar el uso de manera eficiente y las modificaciones o la adaptación de nuevos sistemas de riego.

*Métodos de campo*

Sobresalen el subsoleo de suelos compactos, la construcción de represas en surcos, la nivelación de suelos y la reducción de evaporación con cama de rastrojo.

*Estrategias administrativas*

Incluyen el monitoreo de la humedad del suelo, la medición del agua precipitada y la consumida, y la programación de riegos según las necesidades de humedad.

*Modificaciones y adopciones de nuevos sistemas*

Destacan el reemplazo de regaderas con tubería subterránea, la instalación de sistemas de recuperación de colas de agua, el riego por goteo y el intermitente. En el cuadro 3 se presentan 39 métodos de ahorro de agua de riego utilizados en las Altas Planicies de EUA, reportados por Kromm y White (1990).

Como en los casos anteriores, existen diversos factores que influyen en la selección de cualquiera de las técnicas mencionadas, entre los que pueden citarse la ubicación geográfica de la zona agrícola,

**3. Frecuencia de adopción de métodos de ahorro de agua de riego, en las Altas Planicies de E.U.A. (según Kromm y White)**

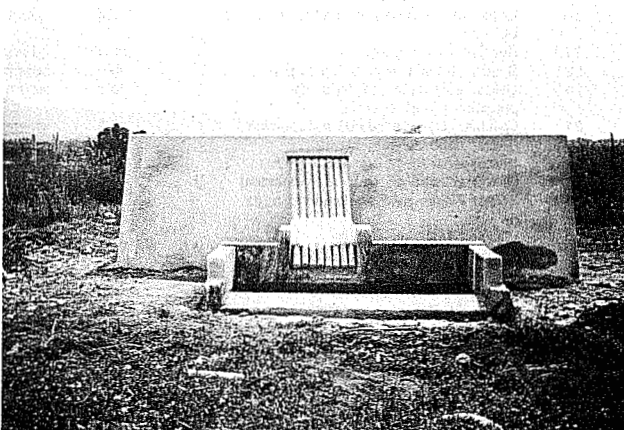
| Número | Técnicas de ahorro de agua                                 | % de adopción | Tipo de método |
|--------|--|---------------|----------------|
| 1      | Subsolear suelos compactos                                 | 66.8          | campo          |
| 2      | Programar riegos según necesidades de humedad              | 53.2          | admón.         |
| 3      | Reducir evaporación con cama de rastrojo                   | 50.7          | campo          |
| 4      | Labranza mínima  | 46.3          | campo          |
| 5      | Monitorear humedad del suelo                               | 45.8          | admón.         |
| 6      | Riego de presiembra  | 44.4          | admón.         |
| 7      | Medir precipitación pluvial                                | 44.0          | admón.         |
| 8      | Verificar eficiencia de planta de bombeo                   | 44.0          | admón.         |
| 9      | Plantar cultivos tolerantes a la sequía                    | 43.5          | admón.         |
| 10     | Nivelar la tierra  | 42.2          | campo          |
| 11     | Reemplazar regaderas con tubería subterránea               | 37.5          | sistema        |
| 12     | Emplear riego de surcos alternos                           | 36.7          | sistema        |
| 13     | Instalar sistema de recuperación de colas de agua          | 35.3          | sistema        |
| 14     | Irrigar en forma limitada                                  | 27.8          | admón.         |
| 15     | Roturar entre surcos                                       | 23.9          | campo          |
| 16     | Instalar cabezas de baja presión en bastones               | 23.7          | sistema        |
| 17     | Utilizar compañía privada de consultoría                   | 23.7          | admón.         |
| 18     | Readaptar pozo con bomba más pequeña                       | 23.4          | sistema        |
| 19     | Medir agua utilizada                                       | 22.6          | admón.         |
| 20     | Compactar surcos para agilizar el avance del agua          | 22.4          | campo          |
| 21     | Reducir área irrigada                                      | 22.4          | admón.         |
| 22     | Sustituir tubería vieja o con fugas                        | 19.9          | sistema        |
| 23     | Utilizar aplicación (de riego) de precisión y baja energía | 18.5          | sistema        |
| 24     | Cambiar riego de surcos a aspersión                        | 17.9          | sistema        |
| 25     | Utilizar riego de surgimiento                              | 17.3          | sistema        |
| 26     | Utilizar labrado en cresta de surcos                       | 15.1          | campo          |
| 27     | Utilizar sistema de riego multifuncional                   | 13.7          | admón.         |
| 28     | Utilizar playas para suplementar agua de pozo              | 13.5          | sistema        |
| 29     | Utilizar bordos en surcos                                  | 11.8          | campo          |
| 30     | Construir terrazas de conservación                         | 10.7          | campo          |
| 31     | No labrar  | 10.2          | campo          |
| 32     | Plantar en hileras alternas                                | 9.3           | campo          |
| 33     | Aplicar reguladores de crecimiento de plantas              | 8.8           | campo          |
| 34     | Utilizar monitor de infrarrojo                             | 5.5           | admón.         |
| 35     | Recargar pozo o lecho                                      | 4.7           | sistema        |
| 36     | Utilizar riego por goteo                                   | 3.6           | sistema        |
| 37     | Utilizar aspersores con capuchón                           | 2.6           | sistema        |
| 38     | Utilizar cableado  | 1.7           | sistema        |
| 39     | Recobrar agua de la inyección de aire                      | 1.5           | sistema        |

la cantidad de agua disponible y los conocimientos de los agricultores. En este sentido adquieren importancia los programas de capacitación a los productores y los mecanismos para poner a su alcance la información sobre técnicas de uso eficiente.

En el IMTA se han evaluado, entre otros, dos opciones para el riego intermitente: una válvula y un dispositivo fluídico, desarrollado en el mismo instituto (Martínez y Barrios, 1990). Este último, llamado diabeto (del griego *diabetés*, que significa sifón), no tiene partes móviles, no requiere de energía adicional, ni de sistemas a presión. Está formado por un depósito y uno o varios sifones (véase ilustración 8). Su funcionamiento es el siguiente: al principio se empieza a llenar el depósito sin que exista descarga, ésta ocurrirá sólo cuando se cebe el sifón; entonces el gasto de salida será mayor que el de entrada, bajando el nivel hasta que se descebe el sifón, para iniciar una nueva etapa de llenado. Así, se definen las dos fases del riego intermitente, "aplicación" y "suspensión del riego". Se recomienda ver el cuadro 1, donde se resumen las técnicas de ahorro de agua.

### En cuencas

La cuenca hidrológica es la unidad natural para planear el uso eficiente del agua y evaluar sus resultados, pues en ella se localizan ciudades, industrias, plantas hidroeléctricas, distritos de riego y granjas acuícolas. Es en este nivel donde se reflejan más claramente las necesidades y beneficios, pues aunque algunas medidas impliquen pequeños ahorros individuales de agua para alguno de los usuarios mencionados, pueden representar mucho para otros y aminorar fuertes riesgos de contaminación o de sobreexplotación de los recursos.



8. Dispositivo de riego intermitente, "Diabeto"

El uso eficiente en este nivel es muy complejo debido a la multiplicidad de objetivos y al gran número de opciones de solución. Ello ha obligado a crear una serie de procedimientos lógicos, que permiten eliminar racionalmente un gran número de opciones para resolver un problema hasta reducirlas a unas cuantas, o quizá a una en casos muy particulares.

Para optimizar los aprovechamientos hidráulicos, no debe perderse de vista el contexto general del proceso de planeación de los recursos hídricos (véase ilustración 9). En este proceso, el punto de partida son los valores y metas sociales (nacionales), a partir de los cuales pueden derivarse los objetivos de los aprovechamientos hidráulicos que estarán limitados por restricciones, recursos, el medio ambiente y la tecnología existente. El siguiente paso consiste en cuantificar los objetivos y restricciones, es decir hacerlos mensurables, con la mayor exactitud numérica posible. A continuación se debe desarrollar un modelo que permita evaluar las alternativas, para finalmente establecer las consecuencias, directas e indirectas que la adopción de la solución pudiera acarrear.

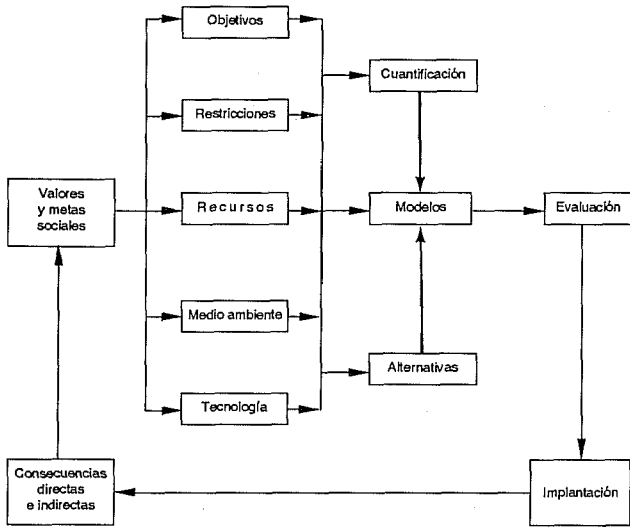
No siempre es posible establecer objetivos cuantitativos (al menos en su totalidad), pues en un objetivo existe una serie de factores que no son medibles, esto es, no son cuantificables. Sin embargo, autores como Ralph L. Keeney, Erick F. Wood y otros, han desarrollado métodos que intentan considerar aspectos subjetivos como el impacto social, la recreación, las repercusiones políticas, etcétera.

Una función objetivo es cualquier enunciado mediante el cual se pueden determinar las consecuencias o el producto del sistema para una política de operación, dados los valores iniciales de las variables de estado y los parámetros del sistema hidráulico.

Las restricciones se definen como el conjunto de funciones que expresan en forma cuantitativa las limitaciones que actúan sobre el sistema hidráulico. Cuando se han podido hacer cuantitativos los objetivos y las restricciones, puede procederse a elaborar el modelo matemático. Este es un conjunto de ecuaciones (algebraicas, diferenciales, etc.), que representa un sistema real. Este sistema de ecuaciones establece relaciones entre los componentes del sistema y los del medio ambiente y sus restricciones.

Así, para analizar un sistema físico se elabora un modelo matemático que lo represente, y sus resultados se aplican a aquél. Se deberá tratar de que las entradas al modelo matemático representen lo más fielmente posible a las entradas al sistema

**9. Diagrama general del proceso de planeación de los aprovechamientos hidráulicos**



físico, y el grado de coincidencia de las salidas de dicho modelo y las del sistema real indicarán la bondad del modelo concebido.

De acuerdo con la naturaleza de la función objetivo y las restricciones, se pueden elaborar modelos lineales o no lineales, determinísticos o probabilísticos, estáticos o dinámicos. Una vez hecho el modelo matemático de un sistema, es usual buscar la solución óptima, que es el conjunto de valores de las variables que maximiza (o minimiza) la función objetivo sujeta a las restricciones, lo cual equivale físicamente al conjunto de datos de proyecto y/o a las políticas de operación que hacen más eficiente el aprovechamiento de los recursos.

*Técnicas de optimización*

Una técnica de optimización es aquella que permite obtener la mejor solución de entre un conjunto de soluciones factibles, a partir de una función objetivo sujeta a restricciones. Existen muchas técnicas de optimización, por ejemplo, la programación lineal, en la que la función objetivo puede expresarse como una función algebraica lineal y las restricciones pueden ser ecuaciones o inecuaciones lineales, en este caso existen soluciones gráficas, analíticas y numéricas. Uno de los problemas que se resuelve con esta técnica es el de transporte, que consiste en llevar el agua de *m* orígenes a *n* destinos.

Los problemas de programación no lineal son aquellos en que las restricciones, la función objetivo o ambos son no lineales. La principal dificultad para resolver este tipo de problemas es que a diferencia de la programación lineal, en que bastaba obtener una solución básica en uno de los vértices de la

región factible para revisar otras soluciones y llegar a la óptima, en el caso de la programación no lineal rara vez la solución óptima se localiza en algún vértice. Esto implica que muchas veces se podrá llegar a una solución óptima aproximada, pues la obtención de la óptima en muchos casos puede implicar un número infinito de cálculos.

Cuando las restricciones son funciones no lineales y la función objetivo es lineal, pueden presentarse dos casos: que la región factible sea convexa o no convexa. El primero es más fácil de resolver, pues una vez identificada una posible solución óptima, puede procederse a revisar con otros valores la función a maximizar (o minimizar); en el segundo, esto es más difícil pues se pueden presentar máximos o mínimos locales en toda la región.

Cuando la función objetivo es no lineal, el problema es difícil pues la distinción entre valores locales y absolutos se complica. La programación dinámica puede definirse como una técnica matemática para la solución de una serie de decisiones en secuencia. Esta solución secuencial implica que el problema se descomponga en una serie de etapas, donde en cada una de ellas es necesario tomar un número reducido de decisiones, o de preferencia solamente una. La programación dinámica permite resolver problemas lineales o no lineales, y se basa en el principio de optimalidad de Bellman: "Una serie de decisiones óptimas (políticas óptimas) tienen la propiedad, de que cualquiera que sea el estado inicial y la decisión inicial, las decisiones restantes deben ser óptimas con respecto al estado que resulte de la primera decisión".

A partir de este principio puede obtenerse la ecuación recursiva de la programación dinámica.

Uno de los tipos de programación dinámica, es aquel que incluye trayectorias. Dentro de estos modelos de trayectorias se encuentran las redes. Una red es un modelo que relaciona a un origen con un destino así como con puntos intermedios, llamados nodos de la red. Las trayectorias que los unen se llaman arcos y, generalmente, el problema se reduce a optimizar el transporte de un producto a través de la red.

Un problema de aprovechamientos hidráulicos real casi siempre tiene varios objetivos, un gran número de variables y complejidad en las funciones (por ejemplo, no linealidad). Para resolverlo, se hace una serie de simplificaciones como pueden ser despreciar variables, linealizar funciones, etc., pero todas estas acciones, a medida que simplifican el problema, llevan al modelo matemático más lejos de una representación fiel o al menos parecida del fenómeno estudiado.

Recientemente se han establecido bases teóricas que permiten descomponer un problema complejo en una serie de subproblemas que se pueden optimizar en forma independiente, incluso con técnicas diferentes y objetivos definidos para cada subsistema. Una vez optimizado éste, se puede hacer lo mismo con el sistema en general. Esta técnica recibe el nombre de jerarquías y multiniveles de aproximación.

A la descomposición del sistema en subsistemas se le conoce como primer nivel, y a la etapa que consiste en optimizar todo el sistema se le llama el segundo nivel del problema; para llegar a éste es necesario que exista interrelación entre los subsistemas, lo que se consigue incluyendo nuevas variables llamadas pseudovariables. Algunas ventajas de la descomposición y del establecimiento de niveles son:

- Simplificación conceptual del sistema complejo.
- Reducción en dimensionalidad.
- Procedimientos de programación y computación más sencillos.
- Modelos de sistemas más realistas.
- Interacción entre subsistemas.
- Aplicabilidad a modelos estáticos y dinámicos.
- Utilización de diferentes técnicas de optimización en la solución de subsistemas.
- Uso de modelos ya existentes.

Las aplicaciones de esta técnica a los problemas de aprovechamientos hidráulicos son muchas, por ejemplo cuando se tienen horizontes de planeación a corto, mediano y largo plazos, con objetivos definidos en cada uno de ellos, o en el caso de grandes cuencas que pueden dividirse en subcuencas y asociar problemas de optimización a cada uno, o cuando existen sistemas hidráulicos en diferentes zonas políticas, o en aquellos casos en que existen distintos usos en el aprovechamiento hidráulico.

El problema general puede plantearse así, dada una región  $R$ :

max:

$$f(u, m, \alpha)$$

Sujeto a:

$$g(u, m, \alpha) \leq 0$$

donde:

$u$  = vector de entradas al sistema

$m$  = vector de variables de decisión

$\alpha$  = vector de parámetros del modelo.

La región  $R$  puede descomponerse en  $i$  subregiones, entonces para la subregión  $R_i$ , el problema puede plantearse así:

max:

$$f_i(X_i, u_i, m_i, \alpha_i, \sigma)$$

Sujeto a:

$$g_i(X_i, u_i, m_i, \alpha_i, \sigma) \leq 0$$

donde:

$\sigma$  = vector de coordinación, pseudovariable

$u_i, m_i, \alpha_i$  = subvectores de  $u, m$  y  $\alpha$

$X_i$  = es un vector de entradas a la subregión  $R_i$  de otras subregiones.

Esto último implica que las subregiones guardan una relación de entradas-salidas a los subsistemas, además:

$$X_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} y_j \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$y_j = H_j(X_j, u_j, m_j, a_j)$$

donde

$y_j$  = vector de salidas de la subregión  $j$

$c_{ij}$  = matriz de parámetros

Así, el problema total será:

max:

$$\sum_{i=1}^n f_i(X_i, u_i, m_i, \alpha_i)$$

Sujeto a:

$$g_i(X_i, u_i, m_i, \alpha_i)$$

$$X_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} y_j$$

$$y_j = H_j(X_j, u_j, m_j, a_j)$$

## Conclusiones

En muchos casos el uso eficiente del agua no es una opción más, es la única.

Existen técnicas y equipos que permiten usar mejor el agua y la infraestructura, y sin embargo, no se aplican.

La participación de los usuarios en los programas de uso eficiente del agua es escasa, no existe conciencia del problema real que implica la falta del agua y del potencial que existe en ellos para usarla mejor.

Las acciones de uso eficiente se agrupan en programas por ámbito, es decir, hay programas de uso eficiente para las industrias, los municipios, o las cuencas, pero no existe la interrelación adecuada entre ellos para realmente optimizar el aprovechamiento del recurso.

Es necesario apoyar los programas de uso eficiente del agua en el nivel cuenca, con una perfecta definición de la participación de todos los usuarios en su ámbito correspondiente. Sólo de esta manera pueden orientarse todos los subprogramas de uso eficiente en una misma dirección.

## Referencias

- American Society for Testing and Materials. *Manual de Aguas para Usos Industriales*, Editorial Limusa, México, 1982.
- American Water Works Association. *Water Audit and Leak Detection Guidebook*, Department of Water Resources Office of Water Conservation, EUA, agosto de 1986.
- American Water Works Association. *Leaks in Water Distribution Systems*, AWWA, EUA, 1987.
- Arreguín, C. F. y Buenfil R. M. *68 Recomendaciones para ahorrar agua en domicilios, riego e industrias*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, octubre de 1990.
- Baklund, V. y Land Ross A. E. *On Farm Management*, Proceedings of the Conserv 90, agosto 12-16, Phoenix, Arizona, EUA, 1990.
- Brown and Caldwell Consultants. *Case Studies of Industrial Water Conservation in the San José Area, City of San José*, Brown and Caldwell Consultants and Department of Water Resources, EUA, febrero de 1990.
- Camacho, C. A., Enríquez Z. S. y Maldonado S.J. *Recomendaciones para equipos detectores*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Mor, México, diciembre de 1990.
- Campos, M., Maddaus W. y Manzione M. *California Industries Discover that Water Conservation Pays*, Proceedings of the Conserv 90, agosto 12-16, Phoenix, Arizona, EUA, 1990.
- Carvajal, A. y Davidoff B. *California Agriculture Irrigation Efficiency and Distribution Uniformity*, Proceedings of the Conserv 90, agosto 12-16, Phoenix, Arizona, EUA, 1990.
- Corpening, W. L. *Why Toilets – A History of the Consumption toilet and its Introduction into the U. S. Market*, Proceedings of the Conserv 90, agosto, 12-16, Phoenix, Arizona, EUA, 1990.
- Cuthbert, R. W. *Effectiveness of Conservation – Oriented Water Rates in Tucson*, *Journal of the American Water Works Association*, EUA, marzo de 1989.
- Departamento del Distrito Federal. "Programa de Uso Eficiente del Agua", Memoria, D. F., agosto de 1990.
- Diario Oficial de la Federación. *Reglamento del Servicio de Agua y Drenaje para el Distrito Federal*, México, enero de 1990.
- Echávez, A. G. *Fugas en redes de agua potable*, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, mayo de 1991.
- García, B. A. y Cortés M. P. *Evaluación del funcionamiento hidráulico de regaderas marca Nova de fabricación extranjera*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, marzo de 1989.
- García, B. A. y Cortés M. P. *Evaluación del funcionamiento hidráulico de una llave para lavabo automática marca Watermatic*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, mayo de 1989.
- García, B. A. y Cortés M. P. *Evaluación del funcionamiento hidráulico de excusados de bajo consumo de fabricación extranjera*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, mayo de 1989.
- García, B. A. y Cortés M. P. *Evaluación del funcionamiento hidráulico de excusados Lamosa Sahara de fabricación nacional*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, julio de 1989.
- García, B. A. y Cortés M. P., *Informe final del Proyecto UE-9003*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, diciembre de 1989.
- García, B. A. y Cortés M. P. *Evaluación del funcionamiento hidráulico de tres excusados Saver 1.6 Gpf. de fabricación chilena*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, enero de 1990.
- García, B. A. y Cortés M. P. *Evaluación del funcionamiento de dos lavadoras de ropa*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, mayo de 1990.
- García, B. A. y Cortés M. P. *Evaluación del funcionamiento de retenedores para excusados de alto consumo de fabricación nacional*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, julio de 1990.
- García, B. A. y Cortés M. P. *Evaluación del funcionamiento hidráulico del supersifón marca Supersifón en excusados de alto consumo de fabricación nacional*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, marzo de 1991.

- García, O. J. *Aprovechamiento de las aguas residuales en la Empresa Rivetex*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, junio de 1991.
- Gordon, L. D. *Water Conservation for Oahu*, Proceedings of the Conserv 90, agosto, 12-16, Phoenix, Arizona, EUA, 1990.
- Grisham, A. y Flemming W. "Long Term Options for Municipal Water Conservation", *Journal of the American Water Works Association*, EUA, marzo de 1989.
- Hammer, M. *Análisis de fugas de agua*, Kontakt Und Stadium Band 229, Expert Verlag, 7031 Ehningen, 1987.
- Jacoby, B. *Xeriscape Ordinances for New Development*, Proceedings of the Conserv 90, agosto 12-16, Phoenix, Arizona, EUA, 1990.
- Kromm, D. E. y White S. E. *Conservation Water in the High Plains*, Kansas State University, EUA, 1990.
- Martínez, A. P. y Barrios D. J. N. "Validación en laboratorio y en campo de un dispositivo flúidico para riego intermitente", 11o. *Congreso Nacional de Hidráulica*, Zacatecas, Zac, Tomo III, 443 pp., México, 1990
- Nero, W. y Sorensen L. *Residential Xeriscape: A Working Demonstration*, Proceedings of the Conserv 90, agosto, 12-16, Phoenix, Arizona, EUA, 1990.
- Ochoa, L., Camacho C. A., Enríquez Z. S. y Maldonado S. J. *Resumen del Informe final del Proyecto Detección y Control de Fugas e Impacto de Micromedición en Guaymas*, Son, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Mor., México, diciembre de 1990.
- Phene, C. J. *Drip Irrigation Saves Water*, Proceedings of the Conserv 90, agosto 12-16, Phoenix, Arizona, EUA, 1990.
- Planells, V. F., González A. A., López V. V., Sanz T. F. y García-Serra G. J. *Diagnóstico de la gestión óptima de contadores en un sistema de distribución de agua*, Tecnología del Agua, España, 1987.
- Postel, Sandra. *Water for Agriculture: Facing the Limits*, Worldwatch, Paper 93, diciembre de 1989.
- Romero, G. A. y González M. J. *Estudio para la reutilización de las aguas residuales en la industria azucarera*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Mor., México, diciembre de 1990.
- Stevens Institute of Technology. *Study of Reduce Water Closet Volume*, Research Report 91-01, ASPE Research Foundation, Hoboken, Nueva Jersey, 1991.
- Van Dyke, P. y Pettit P. *Pennsylvania Comprehensive Drinking Water Facilities Plan: Innovative Policy For Over. 2400 Community Water Systems*, Proceedings of the Conserv 90, agosto, 12-16, Phoenix, Arizona, EUA, 1990.